

AC

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-150088

(43)Date of publication of application : 22.05.1992

(51)Int.Cl. H01S 3/23  
H01S 3/18  
H04B 10/16

(21)Application number : 02-273413

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 15.10.1990

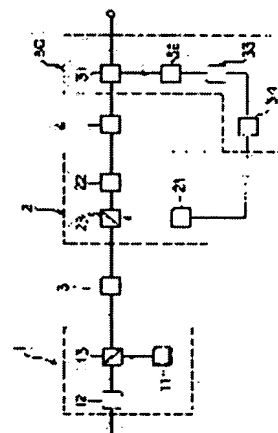
(72)Inventor : TOMOFUJI HIROAKI  
NISHIMOTO HIROSHI

## (54) LIGHT AMPLIFICATION SYSTEM

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To enable a light amplifier system with a low noise and a high-saturation output to be achieved without any influence of multiple reflection at a high gain by using a light amplifier with larger noise and saturation output at a later stage of a light amplifier at a low-noise previous stage.

**CONSTITUTION:** An optical fiber amplifier 1 at a previous stage is constituted with a wave synthesizer 13 for synthesizing signal light to be amplified and exciting light from an excitation light source 11 and allowing it to enter an amplification medium 12. Then, an optical fiber amplifier 2 of a later stage is constituted by a wave synthesizer 23 for allowing exciting light from an excitation light source 21 to enter from a signal input side of an amplification medium 22. Also, light signal for monitoring is branched by a branch equipment 31 and an AGC part 30 is provided to allow output light intensity to be maintained to be constant, thus obtaining a low noise and high-saturation output, preventing influence of multiple reflection which becomes prominent at high-gain operation effectively, and obtaining a higher S/N ratio even at a lower input than before for increasing transmission distance drastically.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

## ⑫ 公開特許公報(A)

平4-150088

⑮ Int. Cl. <sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑯ 公開 平成4年(1992)5月22日

H 01 S 3/23

3/18

H 04 B 10/16

9170-4M

7630-4M

H 01 S 3/23

Z

8426-5K

H 04 B 9/00

J

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全8頁)

⑰ 発明の名称 光増幅システム

⑱ 特 願 平2-273413

⑲ 出 願 平2(1990)10月15日

⑳ 発 明 者 友 藤 博 朗 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社  
内\textcircled{21} 発 明 者 西 本 央 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社  
内

\textcircled{22} 出 願 人 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

\textcircled{23} 代 理 人 弁理士 松 本 昂

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光 増 幅 シ ス テ ム

## 2. 特許請求の範囲

## 1. 低雑音な前段の光増幅器(1)と、

該前段の光増幅器(1)よりも高雑音で且つ飽和出力が高い後段の光増幅器(2)とを備えたことを特徴とする光増幅システム。

2. 請求項1に記載の光増幅システムにおいて、前段の光増幅器(1)と後段の光増幅器(2)の間に光アイソレータ(3)を設けたことを特徴とする光増幅システム。

3. 請求項1に記載の光増幅システムにおいて、前段の光増幅器(1)は後方向励起方式の光ファイバ増幅器とし、

前段の光増幅器(1)と後段の光増幅器(2)の間に第1の光アイソレータ(3)を設け、

上記後段の光増幅器(2)の出力側に第2の光アイ

ソレータ(4)を設けたことを特徴とする光増幅システム。

4. 請求項1に記載の光増幅システムにおいて、前段の光増幅器(1)と後段の光増幅器(2)の間に第1の光アイソレータ(3)を設け、

上記後段の光増幅器(2)の出力側に第2の光アイソレータ(4)を設け、

上記前段の光増幅器(1)の入力側に第3の光アイソレータ(5)を設けたことを特徴とする光アイソレータ。

## 3. 発明の詳細な説明

## 目 次

## 概 要

産業上の利用分野

従来の技術

発明が解決しようとする課題

課題を解決するための手段

作 用

実 施 例

## 発明の効果

概 要

光増幅システムに関し、

低雑音で且つ高飽和出力のシステムを実現することを主目的とし、

例えば、低雑音な前段の光増幅器と該前段の光増幅器よりも高雑音で且つ飽和出力が高い後段の光増幅器とを備えて構成する。

産業上の利用分野

本発明は光増幅システムに関する。

近年、光増幅器の研究が盛んに行われている。光増幅器を送信側の直後においてポストアンプとして用い、受信側の受光素子の直前においてプリアンプとして用い、あるいは光伝送路の途中において中継器として用いることにより、伝送距離の長距離化・受信感度の改善が可能になる。ここで、光増幅器を中継器として用いる場合、低雑音で且つ飽和出力が高いシステムが要求され、また、プ

さくなり、これとは逆に飽和利得が大きいと高雑音になる傾向があった。このように、従来技術によると、低雑音で且つ高飽和出力のシステムを実現することが困難であった。

また、多重反射が生じると、受信感度の劣化、光増幅器自身の発振を引き起こすので、光増幅システムを構築する場合には光アイソレータを用い、反射光を防ぐ必要があり、光アイソレータの効果的な使用が要求される。

更に、光増幅器あるいは増幅媒質の入力側に光アイソレータや励起用の光学部品（合波器等）をおくと、その損失に起因してS/N比が劣化することがあり、これに対処することも要求される。

本発明の目的は低雑音で且つ高飽和出力の光増幅システムを実現することである。

本発明の他の目的は、高利得動作時に顕著になる多重反射の影響を効果的に防ぐことができる光増幅システムの提供である。

リアンプとして用いる場合、低雑音なシステムが要求される。

従来の技術

従来の光増幅システムの構成例を第10図により説明する。同図(a)に示されたシステムは、半導体光増幅器102の入力側及び出力側にそれぞれ光アイソレータ101、103を設けて構成されている。また、同図(b)、(c)において、101、103は光アイソレータ、104は合波器、105はEr等の希土類元素がドープされた光ファイバ等からなる増幅媒質、106は励起光源である。このように、従来構成においては、単一の光増幅器あるいは増幅媒質を用いて、光増幅器あるいは増幅媒質の入力側及び出力側に光アイソレータが設けられている。

発明が解決しようとする課題

従来のように単一の光増幅器あるいは増幅媒質を用いている場合、低雑音であると飽和利得が小

課題を解決するための手段

第1図は本発明の光増幅システムの第1構成を示す図である。このシステムは、低雑音な前段の光増幅器1と、前段の光増幅器1よりも高雑音で且つ飽和出力が高い後段の光増幅器2とを備えて構成される。

第2図は本発明の光増幅システムの第2構成を示す図である。このシステムは、前段の光増幅器1と後段の光増幅器2の間に光アイソレータ3を設けて構成される。

第3図は本発明の光増幅システムの第3構成を示す図である。このシステムは、前段の光増幅器1と後段の光増幅器2の間に第1の光アイソレータ3を設け、後段の光増幅器2の出力側に第2の光アイソレータ4を設けて構成される。前段の光増幅器1は後方向励起方式の光ファイバ増幅器である。

第4図は本発明の光増幅システムの第4構成を示す図である。このシステムは、前段の光増幅器1と後段の光増幅器2の間に第1の光アイソレー

タ3を設け、後段の光増幅器2の出力側に第2の光アイソレータ4を設け、前段の光増幅器1の入力側に第3の光アイソレータ5を設けて構成される。

#### 作用

本発明の第1構成における作用を説明する。光増幅器の静特性は、近似的には以下のレート方程式に従う。

$$\frac{dP_s}{dz} = -\alpha P_s(z) + k \{N(z) - N_c\} P_s(z) \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial N(z)}{\partial t} = r - \frac{N(z)}{\tau_s} - k \{N(z) - N_c\} \frac{P_s(z) + P_n(z)}{h\nu S} \quad \dots (2)$$

$$\frac{dP_n}{dz} = -\alpha P_n(z) + k \{N(z) - N_c\} P_n(z) + C \frac{N(z)}{\tau_s} \quad \dots (3)$$

ここで、 $z$ は光の進行方向の変位、 $N(z)$ は反転分布密度、 $P_s(z)$ は信号光強度、 $P_n(z)$ は自然放出光強度（雑音に相当し、 $P_n(0) =$

$$G = \int_0^L (-\alpha + k \{N(z) - N_c\}) dz \quad \dots (5)$$

$$= \int_0^L \left( -\alpha + k \frac{r \tau_s - N_c}{1 + P_s(z)/P_{sat}} \right) dz$$

$$\approx \int_0^L (-\alpha + k (r \tau_s - N_c)) dz \quad \dots (6)$$

となる。尚、(6)式は $P_s(z) \ll P_{sat}$ のときのものである。ここで、 $k$ は比例係数、 $L$ は増幅作用長（光増幅器の長さ）、 $\tau_s$ は反転分布寿命、 $\alpha$ は（導波路の）損失、 $S$ は増幅器の断面積（半導体光増幅器の場合：活性層の断面積、ファイバ光増幅器の場合：モードフィールドの占める面積）、 $N_c$ は利得に貢献しない反転分布密度、 $r$ はポンピング率、 $h$ はプランク定数、 $\nu_s$ は信号光周波数、 $P_{sat}$ は飽和出力である。

(4)式より飽和出力 $P_{sat}$ を大きくするには、利得と反転分布とを結びつける $k$ を小さくすればよいことがわかる。ただし、 $k$ と $S$ に関係が有る場合は、 $k/S$ を小さくしつつ $k$ を小さくする必要

がある。0)、 $\tau_s$ 、 $C$ は係数、 $t$ は時間である。

(2)式において $\frac{\partial N}{\partial t} = 0$ 、 $P_s(z) \gg P_n(z)$ であるから、

$$N(z) = \frac{r + \frac{k N_c P_s(z)}{h\nu S}}{\frac{1}{\tau_s} + \frac{k P_s(z)}{h\nu S}} \quad \dots (2')$$

となり、これを(1)式に代入すると、

$$\frac{dP_s}{dz} = -\alpha P_s + \frac{k}{1 + P_s(z)/P_{sat}} (r \tau_s - N_c) P_s(z) \quad \dots (1')$$

$$P_{sat} = h\nu S / k \tau_s \quad \dots (4)$$

が得られる。一方、(1)式から、

$$\frac{dP_s}{dz} = \{ -\alpha + k \{N(z) - N_c\} \} P_s(z)$$

となるから、

がある。

しかし、 $k$ を小さくすることは、利得が(5)式で決まるので、反転分布が効率的に利得に貢献しないことになる。そのため、同じ利得を得る場合、 $k$ を小さくすると反転分布の量がふえることになる。光増幅器の雑音は反転分布の量が大きくなるに従って増加するため、比例係数 $k$ を小さくして飽和出力 $P_{sat}$ を大きくすると、雑音が増大することになる。(3)式は、光増幅器の各部分で雑音が $C \frac{N(z)}{\tau_s}$ 発生し、それが、その発生点から、光増幅器の出力端に達するまでの利得で増幅されることを示している。利得が大きい場合、光増幅器の入光入射側（ $z=0$ ）に近い方で発生する雑音が特に影響が大きい。このため、 $k$ が大きい前段の光増幅器1と $k$ が小さい後段の光増幅器2とを組み合わせる用いて、低雑音な光増幅器1の飽和出力付近まで光増幅器でまず増幅すると、同じ利得を前段の光増幅器1の代わりに後段の光増幅器2を用いる場合よりも雑音が低くなる。

半導体光増幅器では、 $k = \epsilon g_0$ 、光ファイバ

増幅器では、 $k = \sigma S M$  とかける。尚、 $\xi$  は光閉じ込め係数、 $g_0$  は微分利得、 $\sigma$  は誘導放出の有効断面積、 $S$  は増幅器の断面積、 $M$  は励起イオンと信号光との重なり度を表す。

このように本発明の第1構成によると、低雑音で且つ高飽和出力の光増幅システムの実現が可能になる。

次に、本発明の第2構成又は第4構成における作用を説明する。光増幅器の両端に反射点が存在する場合、信号光の大きさ1に対して、戻り光の大きさは、光増幅器の利得 $G$ 及び反射点での反射率 $R$ を用いて $G^2 R^2$ で表されるから、光増幅器の利得が大きくなるに従って影響が大きくなる。また、この影響による感度の劣化 $PP$ は(7)式で与えられる。

$$PP = -5 \log (1 - 144 (N_{sp} h \nu B / P_{ix} + G^2 R^2)) \quad \dots (7)$$

ここで、 $N_{sp}$  は自然放出係数、 $h$  はプランク定数、 $\nu$  は信号光の周波数、 $B$  は光増幅器の帯域(又は光フィルタの帯域)、 $P_{ix}$  は光入力信号の

平均値である。

例えば第10図(a)等)に示された従来構成において、光アイソレータ101、103の反射率を $R$ 、光増幅器102の利得を $G$ とすると、多重反射の大きさは $G^2 R^2$ となる。受信感度の劣化は多重反射の大きさで決まるので、利得 $G$ が大きくなると、反射率 $R$ の低減を図る必要が生じる。これに対して、本発明の第2構成又は第4構成は次のような優位性を有している。いま、第2図において、前段の光増幅器3から入射側を見たときの反射率を $R_1$ とし、後段の光増幅器4から出射側を見たときの反射率を $R_2$ とし、光アイソレータ5の反射率を $R$ とし、例えば光増幅器3、4の利得をそれぞれ $\sqrt{G}$ とすると、この光増幅システムにおけるトータルの利得は従来構成における場合と同様 $G$ となるが、多重反射の大きさは $R_1 \cdot R \cdot G$ 、 $R_2 \cdot R \cdot G$ となり、本発明によると利得の多重反射への影響を小さくすることができることがわかる。

本発明の第4構成(第4図)のように、光増幅

システムの両端に光アイソレータ6、7を追加すると、 $R_1$ 、 $R_2$ が光アイソレータの反射率で決まり、光アイソレータがない場合よりも更に反射率を下げるができるので、より大きな利得においても多重反射の影響を受け難くなる。

次に、本発明の第3構成における作用を説明する。従来構成において、大きい利得 $G$ の光増幅器の前段に損失 $\eta_1$ の光アイソレータ等の光学部品が配置されている場合の $S/N$ 比は次のように表される。

$$\frac{S}{N} = \frac{(N_i \eta_1 G e)^2}{4 n_{sp} N_i \eta_1 e^2 G (G-1) B n + 4 n_{sp}^2 e^2 (G-1)^2 B n \Delta f}$$

$$\approx \frac{N_i^2 \eta_1^2}{4 n_{sp} N_i \eta_1 B n + 4 n_{sp}^2 B n \Delta f} \quad (\because G \gg 1) \quad \dots (8)$$

ただし、 $G (> 1)$  ; 光増幅器の利得、

$\eta_1 (< 1)$  ; 入力側の損失、

$N_i$  ; 入力光子数、

$n_{sp}$  ; 自然放出係数、

$\Delta f$  ; 光フィルタ帯域、

$B n$  ; 受信器の帯域

一方、本発明の第3構成において、利得 $G_1$ の前段の光増幅器と利得 $G_2$ の後段の光増幅器の間に損失 $\eta_1$ の光アイソレータ等の光学部品が設けられている場合における $S/N$ 比は次のように表される。尚、 $G_1 \cdot G_2 = G$ とする。

$$\frac{S}{N} = (N_i G_1 G_2 \eta_1 e)^2 / \{ 4 n_{sp} e^2 N_i G_1 (G_1 - 1) G_2^2 \eta_1^2 B n + 4 n_{sp}^2 e^2 (G_1 - 1)^2 \eta_1^2 G_2^2 B n \Delta f - 4 n_{sp} e^2 (N_i G_1 \eta_1) G_2 (G_2 - 1) B n + 4 n_{sp}^2 e^2 (G_2 - 1)^2 B n \Delta f \}$$

$$\approx N_i^2 \eta_1^2 / \{ 4 n_{sp} N_i B n \eta_1^2 + 4 n_{sp}^2 \eta_1^2 B n \Delta f + 4 n_{sp} N_i B n \frac{\eta_1}{G_1} + 4 n_{sp}^2 \frac{1}{G_1^2} B n \Delta f \}$$

$$= N_i^2 / \{ 4 n_{sp} N_i B n (1 + \frac{1}{G_1 \eta_1}) + 4 n_{sp}^2 B n \Delta f (1 + \frac{1}{(G_1 \eta_1)^2}) \} \quad \dots (9)$$

本発明の第3構成による場合、前段の光増幅器の利得 $G_1$ をある程度の大きさ以上(例えば10

dB以上)にすれば、後段の光増幅器で加わる雑音は無視することができる程度になる。更に、本構成によると、光増幅器の入射側に光アイソレータ等の光学部品がないので、入力光強度は従来構成による場合よりも大きくなり、S/N比は大きく改善されることになる。具体的には、(8)式及び(9)式を比較すると、 $1/\kappa_1$ 倍から $1/\kappa_1^2$ 倍程度になる。

一方、光増幅器を用いる場合、多重反射の影響に注意する必要がある。このため、通常、他の光学部品やレーリ散乱による戻り光を防ぐため、光増幅器の両端に光アイソレータを入れるかあるいは反射率を低減するため光部品間はスプライスにより接続する。

光増幅器の入射側の光アイソレータを取り去る場合、多重反射の影響が問題となる。このため、前段の光増幅器の利得を、回線切断時に光増幅器が光発振器となって発振したりQスイッチ動作をしたり、通常動作状態で多重反射による受信感度の劣化を生じない程度に抑えて、後段の光増幅器

は光アイソレータを両側に配することで、多重反射による受信感度劣化の影響を従来のように抑えつつ、入力信号を弱めていた原因を取り除くことができる。

### 実施例

以下本発明の実施例を説明する。

本発明の第1構成を実施する場合、前段の光増幅器と後段の光増幅器を差別化するためには、微分利得が異なるあるいは光閉じ込め係数が異なるような構造や組成の組合せを持つものを使用すればよい。この例を以下に示す。

①通常の活性層を有する半導体光増幅器(前段)と不純物をドーブした活性層を有する半導体光増幅器(後段)を用いる。この場合、不純物をドーブした活性層を持つ半導体光増幅器の方が微分利得が低くなる。

②通常の活性層を有する半導体光増幅器と量子井戸構造を導入した活性層を有する半導体光増幅器を用いる。

③量子井戸構造を導入した活性層を有する半導体光増幅器(井戸数が少ない)と量子井戸構造を導入した活性層を有する半導体光増幅器(井戸数が多い)を用いる。

これらの組合せの半導体光増幅器をモノリシックに同一基板上に一体化して作成してもよいし、別個に作成して光結合をとってもよい。

前段の光増幅器及び後段の光増幅器として光ファイバ増幅器を用いる場合には、Er等の希土類元素のドーブ領域を異ならせることにより微分利得係数を異ならせることができる。即ち、前段の光増幅器としては、第5図(a)に示すように、モードフィールド径に対してドーブ領域が比較的広い光ファイバ増幅器を用い、後段の光増幅器としては、同図(b)に示すように、モードフィールド径に対してドーブ領域が比較的狭い光ファイバ増幅器を用いる。

前段の光増幅器として光ファイバ増幅器を用い、後段の光増幅器として半導体光増幅器を用いることができる。半導体光増幅器の飽和出力は大きく、

光ファイバ増幅器は低雑音である。

第6図は本発明の第1実施例を示す光増幅システムのブロック図である。この例では、前段の光増幅器1及び後段の光増幅器2として光ファイバ増幅器が用いられている。前段の光増幅器1において、11は励起光源、12はEr等の希土類元素をドーブしてなる増幅媒質、13は増幅すべき信号光と励起光を合波して増幅媒質12に入射させるための合波器である。後段の光増幅器2において、21は励起光源、22は増幅媒質、23は励起光を増幅媒質22の信号光入力側から入射させるための合波器である。

この例では、出力光強度が一定に保たれるように、AGC部30が設けられている。AGC部30において、31はモニタ用の光信号を分岐するための分岐器、32は分岐された光のうち信号光のみ通し自然放光や励起光を除去するための光フィルタ、33は光フィルタ32を透過した光を電気信号に変換する受光器、34は受光器33の受光レベルが一定に保たれるように励起光源21

を制御する制御回路である。このようなAGC系を構成することにより、入力信号レベルにかかわらず常に一定の光出力を得ることができる。

この例では、前段の光増幅器1を後方向励起方式で構成し、後段の光増幅器2を前方向励起方式で構成しているが、後段の光増幅器を後方向励起方式で構成してもよい。本実施例によると、前段の光増幅器の入力損失を減少させることができ、システム全体のS/N比を向上させることができる。また、利得を高く設定したときに、多重反射の影響が少ない。

回線切断時に光増幅器が光発振器となって発振したり、Qスイッチ動作をしたり、通常動作状態で多重反射による受信感度の劣化がなければ、光アイソレータ4を取り除くことができる。

第7図は本発明の第2実施例を示す光増幅システムのブロック図である。この例では、前段の光増幅器1及び後段の光増幅器2として半導体光増幅器を用いている。14、24は半導体レーザ型に構成された半導体光増幅器、15、25はそれ

ぞれ半導体光増幅器14、24に駆動電流を供給する駆動回路である。AGC部40において、41は信号光のみを透過し自然放出光や励起光を除去するための光フィルタ、42は光フィルタ41の透過光からモニタ用の光信号を分岐するための分岐器、43は分岐光を電気信号に変換する受光器、44は受光器43の受光レベルが一定になるように駆動回路25を制御する制御回路である。

この実施例によると、前段の光増幅器1及び後段の光増幅器2をモノリシックに基板上に形成することもできるので、前実施例と比較して装置の小型化が可能である。本実施例においても、前実施例における条件と同一の条件下で光アイソレータ4を取り除くことができる。

第8図は本発明の第3実施例を示す光増幅システムのブロック図である。この例では、前段の光増幅器1として前方向励起型の光ファイバ増幅器を用い、後段の光増幅器2として半導体光増幅器を用い、これまでの実施例と同様AGC部30を設けている。

第9図は本発明の第4実施例を示す光増幅システムのブロック図である。この例は本発明の第4構成の実施例に相当する。即ち、本発明の第4構成において、光アイソレータ4から出力される光強度が一定に保たれるように、AGC部30を設け、後段の光増幅器2の利得を制御するようにしたものである。

本発明の実施例において、AGCを後段の光増幅器でかけているのは、出力の高い状態で次段の増幅器に入る方がS/N比がよいからである。

#### 発明の効果

以上説明したように、本発明によると、低雑音で且つ高飽和出力の光増幅システムの実現が可能になるという効果を奏する。また、高利得動作時に顕著になる多重反射の影響を効果的に防ぐことができるようになるという効果もある。その結果、従来よりも低い入力でも光増幅システムにおいて高いS/N比を得ることができ、伝送距離を飛躍的に拡大することができるようになる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図乃至第4図はそれぞれ本発明の第1乃至第4構成を示す図、

第5図は希土類元素のドーブ領域の説明図、

第6図乃至第9図はそれぞれ本発明の第1乃至第4実施例を示す光増幅システムのブロック図、第10図は従来技術の説明図である。

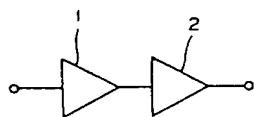
1…前段の光増幅器、

2…後段の光増幅器、

3、4、5…光アイソレータ。

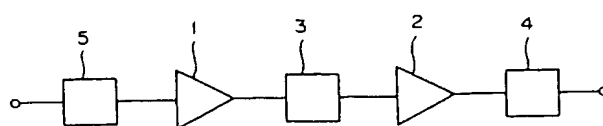
出願人： 富士通株式会社

代理人： 弁理士 松本 昂



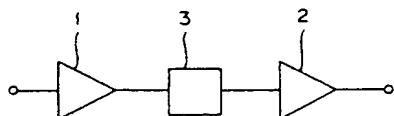
第1構成を示す図

第1図



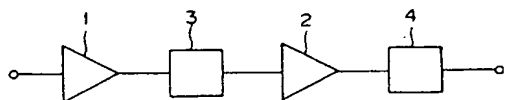
第4構成を示す図

第4図



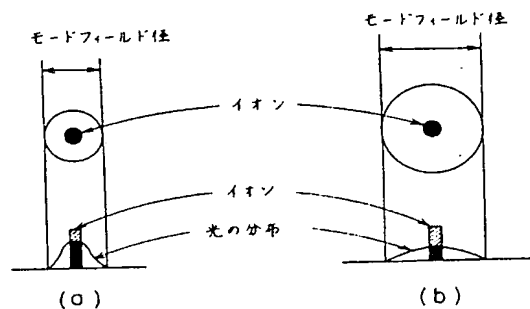
第2構成を示す図

第2図



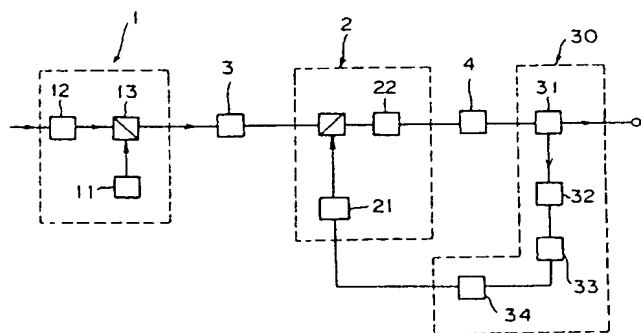
第3構成を示す図

第3図



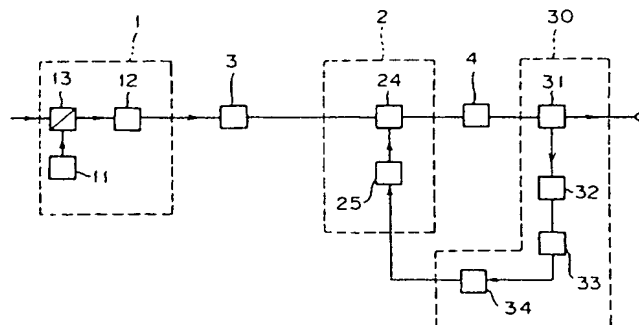
希土類元素のドーパ領域の説明図

第5図



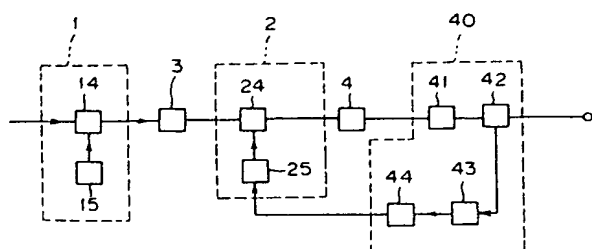
第1実施例図

第6図



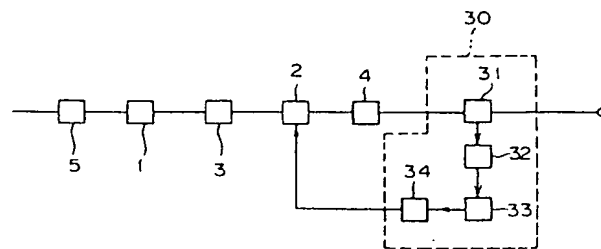
第3実施例図

第8図



第2実施例図

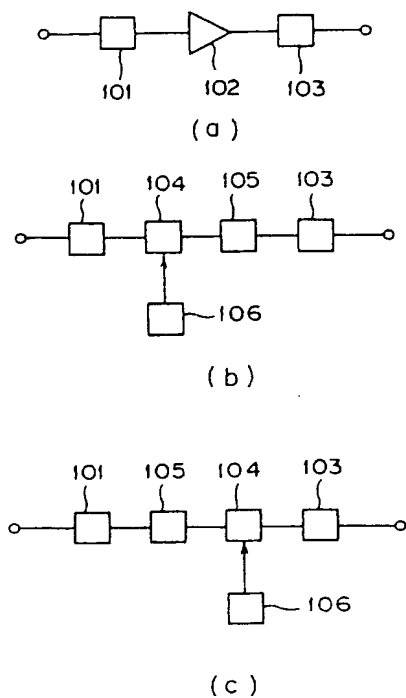
第7図



第4実施例図

第9図





従来例図

第 10 図